

## PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP TEGANGAN DALAM SAMBUNGAN TULANG PINGGUL BUATAN

**Sugiyanto, M. Tauviqirrahman, Rifky Ismail dan Jamari**

Laboratorium Perancangan Teknik dan Tribologi, Jurusan Teknik Mesin,  
Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang  
e-mail: mtauviq99@yahoo.com

### Abstrak

*Kerusakan permanen pada sendi memerlukan tindakan penggantian dengan sendi buatan (artificial hip replacement). Pemilihan sifat material pengganti komponen dan dimensi yang digunakan perlu dilakukan secara cermat untuk mendapatkan kemampuan maksimal sambungan tulang pinggul buatan.*

*Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh pembebanan sebagai model berat beban pada manusia terhadap tegangan yang terjadi dalam sistem sambungan tulang pinggul buatan. Perangkat lunak berdasarkan metode elemen hingga digunakan untuk memodelkan berbagai lapisan komponen sambungan yang ada*

*Berdasarkan studi ini, diketahui bahwa material viskoelastik berpengaruh terhadap distribusi tegangan yang terjadi pada tiap-tiap lapisan. Besarnya tegangan von Mises maksimum yang terjadi pada semua lapisan dalam sistem sambungan tulang pinggul buatan yang dikembangkan untuk femoral head dengan diameter 33 mm terbukti memenuhi persyaratan secara keteknisan karena tidak melebihi tegangan luluh material pembentuknya.*

**Kata kunci:** *Sambungan tulang pinggul buatan, Viscoelastik*

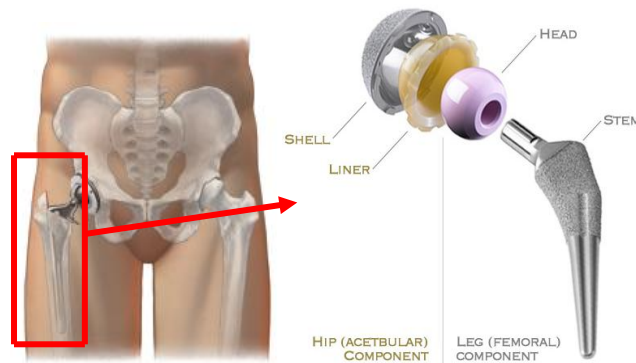
### PENDAHULUAN

Respon tiap material terhadap beban luar yang diberikan tergantung sifat material tersebut. Material dapat bersifat elastik, elastik-plastik, plastik, viskoelastik atau viskoplastik. Respon material yang menunjukkan karakteristik viskos dan elastik ketika terjadi deformasi dikatakan bersifat viskoelastik. Aplikasi material viskoelastik salah satunya ada pada bidang *bio-engineering*. Dalam bidang ini material viskoelastik dapat diaplikasikan pada sistem sambungan tulang pinggul buatan. Sifat viskoelastik merupakan suatu sifat material yang menunjukkan respon elastik dan viskos ketika terjadi deformasi. Tegangan dan regangan yang terjadi pada material viskoelastik merupakan suatu fungsi waktu. Beberapa material yang menunjukkan sifat viskoelastik adalah polymer, tubuh manusia, kayu, dan beberapa logam pada temperatur tinggi. Aplikasi polymer sebagai material yang memiliki sifat viskoelastik salah satunya ada pada bidang *bio-engineering* yaitu sebagai *bearing* di sistem sambungan tulang buatan. Sistem sambungan tulang buatan dibuat untuk menggantikan sambungan tulang manusia yang mengalami kerusakan akibat penyakit tulang (*arthritis*) atau kerusakan akibat faktor lain seperti kecelakaan dan kekurangan nutrisi (Smallman dan Bishop, 2000). Ada beberapa jenis sambungan tulang buatan seperti pada bahu, lutut, pinggul, jari, dan sendi-sendi lainnya.

Di Indonesia, persediaan tulang pinggul buatan untuk kebutuhan masyarakat dalam negeri masih didatangkan dari luar negeri (*import*). Hal ini dikarenakan teknologi yang berkembang di Indonesia belum mampu memenuhi kriteria kualitas sambungan baik dari persyaratan teknis maupun medis. Permasalahan muncul ketika dimensi sambungan yang seharusnya diaplikasikan untuk ukuran orang-orang Eropa dan Amerika sebagai penyedia produk kemudian diterapkan untuk orang Indonesia yang lebih kecil ukurannya. Fenomena ini menuntut adanya keharusan untuk memodifikasi sambungan baik dari segi karakteristik fungsional, material, dan geometris agar dapat digunakan lebih layak untuk masyarakat Indonesia.

Penelitian ini menfokuskan pada pemodelan kasus kontak berbagai lapisan komponen pada sambungan tulang pinggul buatan dengan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga ANSYS 9.0 yang menerima beban statik selama kurun waktu tertentu. Sistem sambungan tulang pinggul buatan yang dikembangkan terdiri dari dua bagian komponen yaitu komponen *hip (acetabular)* dan komponen *leg (femoral)* (Gb. 1). Komponen *femoral head* dimodelkan sebagai paduan *cobalt-chrome-molebdenum*, sedangkan komponen *liner* pada *hip* dimodelkan sebagai UHMWPE sebagai material viskoelastik. Kedua material ini merupakan salah satu pasangan yang paling banyak digunakan (Bale dan Dharmastiti, 2009). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk

mencari pengaruh pembebanan terhadap distribusi tegangan maksimum yang terjadi pada sambungan pinggul buatan dengan bervariasi harga pembebanan pada diameter tertentu dalam *femoral head*.



Gambar 1. Sambungan tulang pinggul buatan (Ghost, 2002)

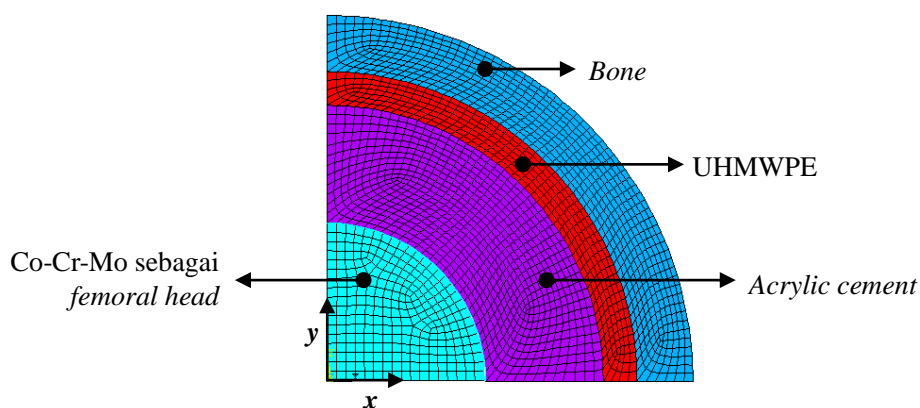
### PROSEDUR PEMODELAN

Dalam penelitian ini, model elemen hingga dikembangkan untuk sistem sambungan tulang pinggul buatan dengan menggunakan perangkat lunak simulasi berdasar metode elemen hingga. Perangkat lunak yang digunakan adalah ANSYS Multiphysics 9.0. Model sambungan yang dikembangkan yaitu sambungan dengan diameter dalam *femoral head* sebesar 33 mm. Untuk mensimulasikan efek berat terhadap sambungan, dipilih dua harga pembebanan, yaitu 80 kg dan 400 kg. Harga 80 kg diambil sebagai harga rata-rata berat normal orang Indonesia sedangkan 400 kg merupakan harga lima kali berat normal dengan memperhitungkan berbagai simulasi beban yang mungkin masih mampu ditahan oleh orang Indonesia kebanyakan. Kasus pembebanan yang dilakukan adalah beban statik selama 5 menit waktu pembebanan. Kurun waktu yang diberikan adalah untuk mengetahui pengaruh sifat UHMWPE sebagai material viskoelastik yang merupakan suatu fungsi waktu terhadap distribusi tegangan von Mises.

Data material yang digunakan sebagai masukan dalam pemodelan di ANSYS dapat dilihat pada Tabel 1. Tipe elemen material yang digunakan dalam ANSYS adalah PLANE182 dan jenis kontak yang digunakan adalah TARGE169 dan CONTA172 sebagai pemodelan kontak *surface-to-surface*. Jenis kontak ini yang menghitung besarnya kekakuan elemen penyusun direkomendasikan untuk digunakan karena lebih akurat. Model elemen hingga yang dibangun terdiri dari 2,193 nodal dan 2,147 elemen (Gb. 2).

**Tabel 1.** Data material empat lapis komponen model elemen hingga sambungan tulang (Lakes, 1998)

Material	Young modulus [GPa]	Poisson's ratio
Co-Cr-Mo	210	0.30
UHMWPE	1	0.45
Acrylic cement	2,944	0.38
Bone	17	0.30



Gambar 2. Model elemen hingga untuk sistem sambungan tulang pinggul buatan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tegangan von Mises maksimum merupakan tegangan yang penting diketahui dalam analisa kegagalan menurut kriteria kegagalan von Mises. Bila besarnya tegangan von Mises maksimum yang terjadi dalam sambungan tidak melewati batas tegangan luluh jenis material tiap lapisan penyusun sambungan, maka dikatakan sambungan yang terbentuk aman. Tabel 2 menyajikan hasil tegangan von Mises untuk simulasi variasi beban yang diberikan (80 kg dan 400 kg). Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan harga tegangan setelah lima menit pembebanan baik saat beban 80 kg maupun 400 kg. Penurunan tegangan von Mises maksimum dan penambahan kedalaman material viskoelastik setelah sekian waktu pembebanan dikarenakan ketika tegangan diberikan secara konstan, material UHMWPE sebagai material viskoelastik mengalami fenomena *creep*. Area kontak antara paduan Co-Cr-Mo dengan lapisan UHMWPE semakin meluas seiring dengan waktu sehingga tegangan semakin menurun.

**Tabel 2.** Tegangan von Mises maksimum untuk berbagai beban dan diameter dalam *femoral head*

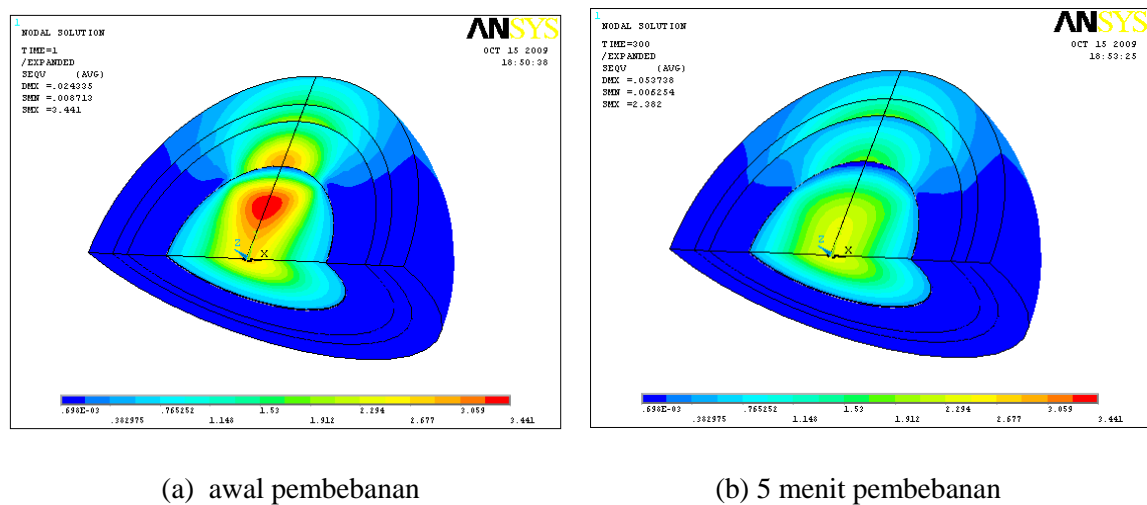
Material	Tegangan von Mises maksimum (MPa)			
	400 kg - 33 mm		80 kg - 33 mm	
	awal	akhir	awal	akhir
Cr-Co-Mo	11.89	9.17	3.44	2.38
UHMWPE	9.86	6.35	3.01	1.81
<i>Acrylic cement</i>	5.87	6.13	2.13	1.85
<i>Bone</i>	5.44	3.46	1.8	1.08
Kedalaman (mm)	0.064	0.167	0.024	0.053

\* Awal : awal pembebanan ( $t = 1$  detik)

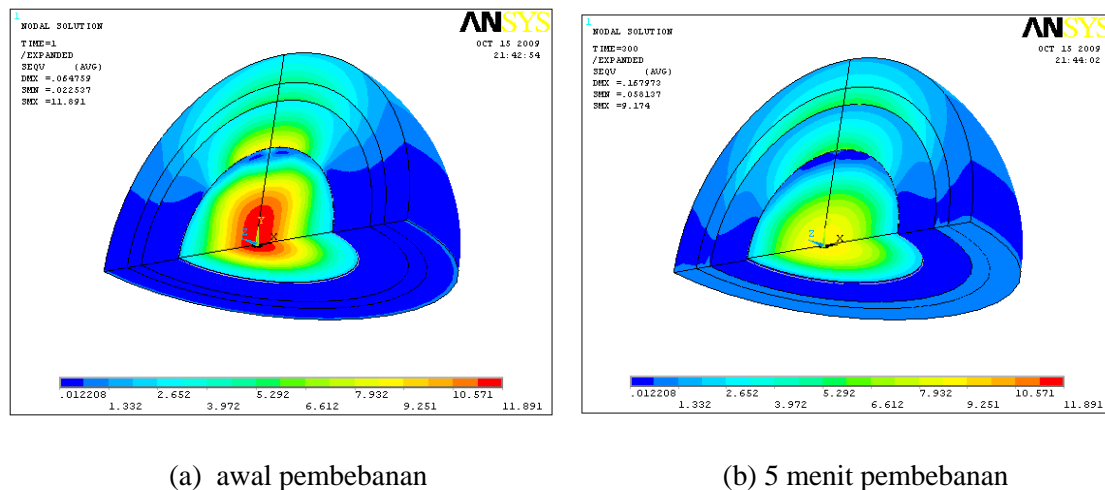
\*\* Akhir : akhir pembebanan ( $t = 300$  detik atau 5 menit)

Gambar 3 sampai dengan 5 menunjukkan plot distribusi tegangan *von Mises* maksimum hasil pemodelan *present model* untuk kasus kontak sambungan tulang pinggul buatan ketika awal pembebanan dan setelah lima menit pembebanan secara statik untuk dua variasi harga pembebanan (400 dan 80 kg) untuk diameter dalam *femoral head* sebesar 33 mm. Dapat dilihat dari keseluruhan gambar bahwa tegangan von Mises maksimum terjadi di daerah *femoral head*. Untuk pembebanan yang lebih besar, posisi tegangan von Mises maksimum bergerak mendekat ke pusat *head*. Peranan UHMWPE sebagai material viskoelastik seperti terlihat dalam gambar adalah mampu mengurangi besarnya tegangan yang terjadi setelah pembebanan (baik untuk yang 80 kg

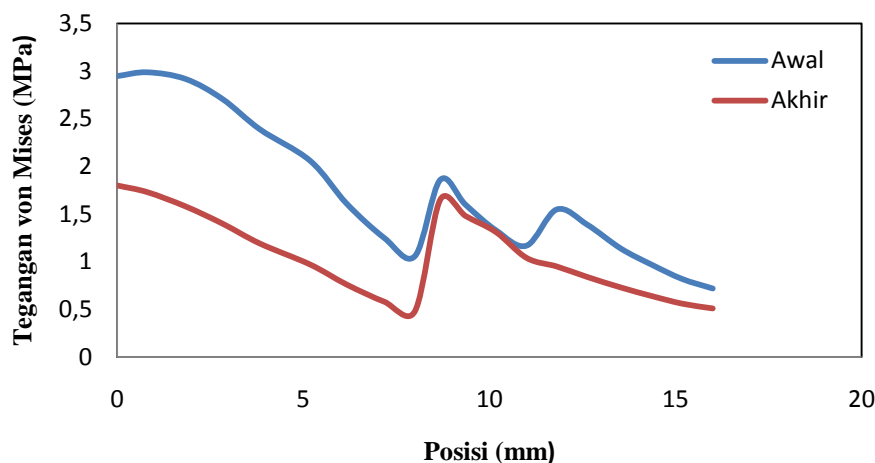
maupun 400 kg) setelah sekian waktu pembebanan. Tegangan von Mises yang ada di lapisan UHMWPE pun relatif sama dengan tegangan yang ada di *cement* maupun yang ada di *bone*. Hal ini berarti bahwa pemilihan material viscoelastik UHMWPE sudah sesuai digunakan sebagai material *liner* pada sambungan tulang pinggul buatan untuk orang Indonesia dari persyaratan keteknisan. Kesimpulan ini diperkuat dengan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6 sampai dengan 7. Posisi 0 (nol) dimulai dari lapisan UHMWPE (Gb. 2). Seperti distribusi tegangan von Mises yang ditampilkan dalam gambar-gambar sebelumnya, besarnya tegangan von Mises semakin berkurang mendekati lapisan *bone*. Pada pergantian lapisan dalam sambungan tulang, terjadi lonjakan tegangan von Mises. Hal ini disebabkan perbedaan karakteristik material yang ada pada tiap lapisan. Tegangan von Mises melonjak ketika memasuki daerah lapisan *cement*. Tetapi nilai tegangan ini berangsur-angsur turun mendekati lapisan *bone*. Fenomena ini memperkuat alasan mengapa *cement* sering digunakan dalam sambungan diantara UHMWPE dan bone. Ini disebabkan karena selain berfungsi sebagai perekat, *cement* juga mampu meredam tegangan von Mises sama sebelum memasuki lapisan *bone*.



Gambar 3. Distribusi tegangan *von Mises* untuk beban 80 kg dengan diameter dalam 33 mm pada saat (a) awal pembebanan, (b) 5 menit pembebanan



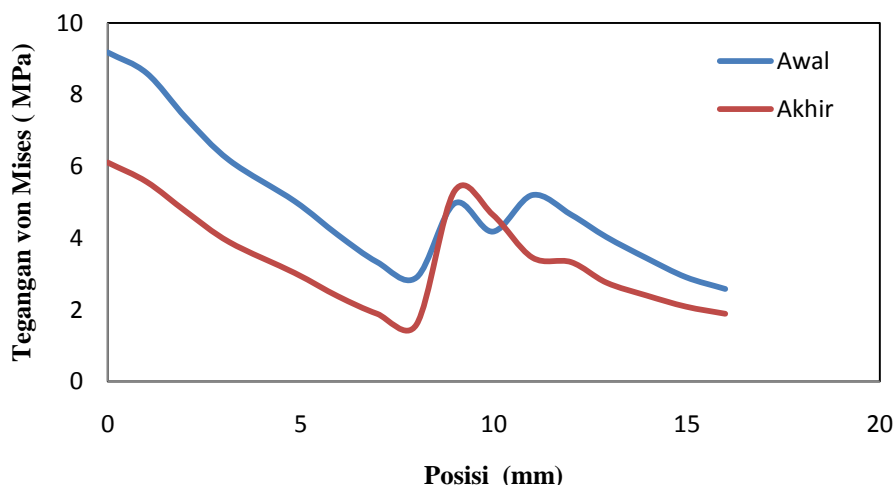
Gambar 4. Distribusi tegangan *von Mises* untuk beban 400 kg dengan diameter dalam 33 mm pada saat (a) awal pembebanan, (b) 5 menit pembebanan



Awal : awal pembebanan (  $t = 1$  detik)

Akhir : akhir pembebanan (  $t = 300$  detik atau 5 menit)

Gambar 6. Tegangan von Mises untuk beban 80 kg dengan diameter dalam 33 mm



Gambar 7. Tegangan von Mises untuk beban 400 kg dengan diameter dalam 33 mm

## KESIMPULAN

Hasil simulasi kontak pada sistem sambungan tulang pinggul buatan menunjukkan pengaruh material UHMWPE yang bersifat viskoelastik terhadap distribusi tegangan von Mises yang terjadi. Karena sifat viskoelastik UHMWPE ini, tegangan von Mises yang dialami tulang dapat tereduksi. Berdasarkan studi ini pula, diketahui bahwa besarnya tegangan von Mises maksimum yang terjadi pada semua lapisan dalam sistem sambungan tulang pinggul buatan yang dikembangkan terbukti memenuhi persyaratan secara keteknisan karena tidak melebihi tegangan luluh material pembentuknya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bale, J.S., dan Dharmastiti, R., "Pengaruh Kecepatan Gesekan Terhadap Sifat Keasuan *Die Drawn* UHMWPE untuk Aplikasi Sendi Lutut Tiruan", *Prosiding SNTTM VIII*, M3-006, Agustus 2009, hal. 517-525.
- Ghost, P., *Polymer Science and Technology*, Mc.Graw-Hill, New Delhi, India, 2002.
- Lakes, R., *Viscoelastic solids*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1998.
- Smallman, R. E. dan Bishop, R. J., *Metallurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, PT.Erlangga, Jakarta, Indonesia, 2000.